



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10324592 A**(43) Date of publication of application: **08 . 12 . 98**

(51) Int. Cl.

C30B 15/14**C30B 15/20****C30B 29/06**(21) Application number: **09134687**(22) Date of filing: **26 . 05 . 97**(71) Applicant: **SUMITOMO METAL IND LTD**(72) Inventor:
**OKUI MASAHIKO
MIYAHARA SHUNJI
FUJIWARA TOSHIYUKI
KUBO TAKAYUKI
FUJIWARA HIDEKI
INAMI SHUICHI****(54) APPARATUS FOR PULLING UP SINGLE CRYSTAL**

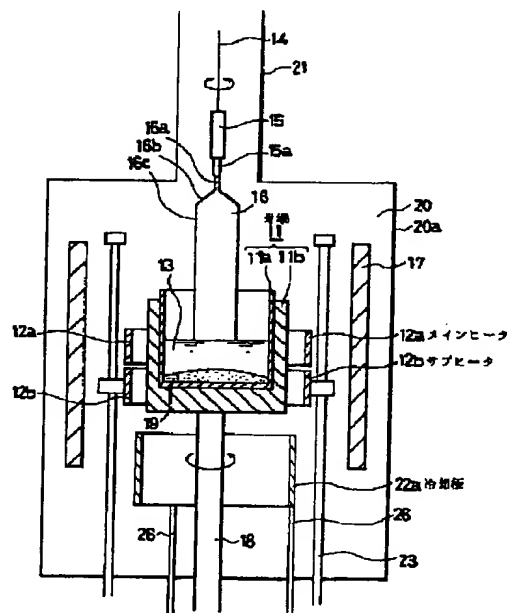
main heater 12a and the sub-heater 12b.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve the problems associated with the conventional apparatus for pulling up single crystals by a DLCZ method, i.e., the control of the thickness and melting rate of a solid layer is difficult and it takes time for formation of the solid layer with the conventional apparatus as these apparatus are not provided with cooling means; heaters are liable to breakage in case a molten layer solidifies as the heaters are fixed to the apparatus; and the heat history of the pulled up single crystal is not made uniform and the deposition state of oxygen is nonuniform in the heat treatment of a wafer after the manufacture of the wafer as the apparatus are not provided with means for applying the heat treatment to the single crystal to be pulled up.

SOLUTION: This apparatus for pulling up the single crystal includes a crucible 11 to be packed with raw materials for the crystal and a main heater 12a and sub-heater 12b disposed on the circumference of this crucible 11. Moving means for making these heaters movable in a vertical direction or radial direction are attached to at least one stage of the heaters of the



(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

C 3 0 B 15/14

C 3 0 B 15/14

15/20

15/20

29/06

5 0 2

29/06

5 0 2 E

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平9-134687

(22) 出願日 平成9年(1997)5月26日

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 奥井 正彦

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

住友金属工業株式会社内

(72) 発明者 宮原 俊二

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

住友金属工業株式会社内

(72) 発明者 藤原 俊幸

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

住友金属工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 井内 龍二

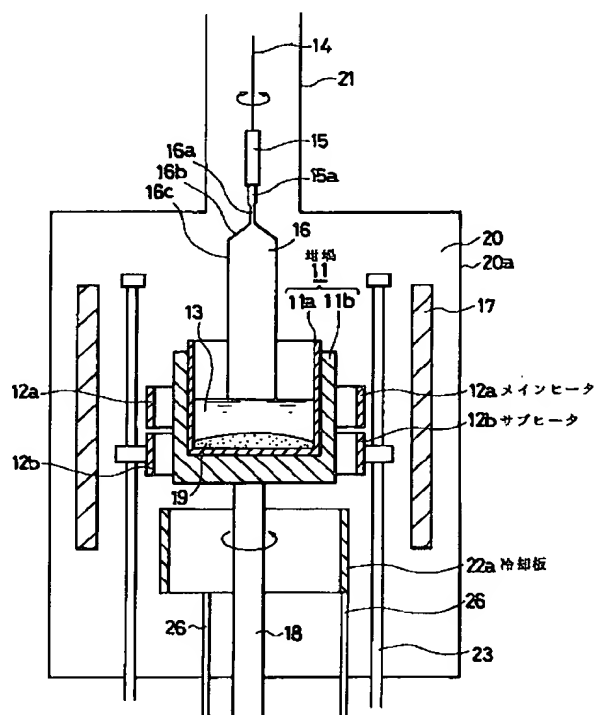
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 単結晶引き上げ装置

(57) 【要約】

【課題】 従来のDLCZ法による単結晶引き上げ装置においては、冷却手段を備えていないために固体層の厚さや溶解速度の制御が難しく、固体層形成に時間がかかり、ヒータが固定されているために溶融層が凝固した場合にはヒータが破壊し易く、引き上げられる単結晶に熱処理を施す手段を備えていないために引き上げられた単結晶の熱履歴が均一化されず、ウェハを作製した後のウェハの熱処理において、酸素の析出状態が不均一になるという課題があった。

【解決手段】 結晶用原料を充填する坩堝11及び坩堝11の周囲に配設されたメインヒータ12a及びサブヒータ12bからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、メインヒータ12a及びサブヒータ12bのうちの少なくとも一段のヒータにこのヒータを上下方向又は半径方向に移動可能とする移動手段が添設されている単結晶引き上げ装置とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを上下方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴とする単結晶引き上げ装置。

【請求項 2】 結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを前記坩堝の半径方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴とする単結晶引き上げ装置。

【請求項 3】 結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を上下方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴とする単結晶引き上げ装置。

【請求項 4】 前記冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が前記坩堝の周囲に配設されていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の単結晶引き上げ装置。

【請求項 5】 結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を半径方向に移動可能とする移動手段が配設されていることを特徴とする単結晶引き上げ装置。

【請求項 6】 請求項 5 記載の冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が坩堝の周囲に配設されていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の単結晶引き上げ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は熔融層法による単結晶引き上げに使用される単結晶引き上げ装置に関し、より詳細には、例えば LSI、CCD、太陽電池等の半導体材料として使用されるシリコン単結晶等の単結晶引き上げ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】単結晶を成長させるには種々の方法があるが、その方法の一つにチョクラルスキー法（以下、CZ法と記す）がある。図 20 は従来の CZ 法に用いられる結晶引き上げ装置を模式的に示す断面図であり、図中、31 は坩堝を示している。この坩堝 31 は有底円筒状の石英製内層容器 31a と、この内層容器 31a の外側に嵌合された有底円筒状の黒鉛製の外層保持容器 31

b とから構成されており、坩堝 31 は図中矢印方向に所定速度で回転する支持軸 38 に支持されている。この坩堝 31 の外側には抵抗加熱式のヒータ 32 が、またヒータ 32 の外側には保温筒 37 がそれぞれ同心円状に配置されており、坩堝 31 内にはこのヒータ 32 により熔融させた結晶用原料の熔融液 33 が充填されている。また坩堝 31 の中心軸上には、支持軸 38 と同一軸心で同方向又は逆方向に所定の速度で回転する引き上げ棒、ワイヤ等からなる引き上げ軸 34 が吊設されており、この引き上げ軸 34 の先に配設されたシードチャック 35 に種結晶 35a を取り付けようになっている。この種結晶 35a を熔融液 33 の表面に接触させて引き上げ軸 34 を結晶成長に合わせて回転させつつ上方へ引き上げることで、熔融液 33 を凝固させて単結晶 36 を成長させている。

【0003】ところで、半導体結晶をこの引き上げ方法で成長させる場合、単結晶 36 の電気抵抗率、電気伝導型を調整するために、引き上げ前に熔融液 33 中に不純物元素を添加（ドーピング）する。しかし通常の CZ 法においては、添加した前記不純物濃度が単結晶 36 の結晶成長方向に沿って変化していく、いわゆる偏析現象が生じ、その結果、結晶成長方向に均一な電気的特性を有する単結晶 36 が得られないという問題があった。

【0004】この偏析は、凝固の際の熔融液 33 と単結晶 36 との界面における単結晶 36 中の不純物濃度 C_s と熔融液 33 中の不純物濃度 C_l との比 C_s/C_l （実効偏析係数 K_e ）が 1 でないことに起因している。例えば実効偏析係数 $K_e < 1$ の場合、単結晶 36 が成長するに伴って熔融液 33 中の不純物濃度が次第に高くなっていき、単結晶 36 に偏析が生じるのである。従って、このような方法で引き上げた単結晶の電気抵抗率を基準とした歩留りは低くなる。

【0005】上記した不純物の偏析を抑制しながら単結晶を成長させる方法の一つとして、熔融層法（以下、DL CZ 法と記す）が挙げられる。

【0006】図 21 は該 DL CZ 法に用いられる単結晶引き上げ装置を模式的に示した断面図であり、図 20 に示したものと同様に構成された坩堝 41 内の上部にある原料をヒータ 42 を使用して熔融させることにより、上層には熔融層 43 を、また下層には固体層 49 を形成する。そして、引き上げに伴って、固体層 49 を次第に熔融させていきながら、後は上記した CZ 法による引き上げ方法と同様の方法で単結晶 46 を成長させる。

【0007】前記 DL CZ 法として、今までに大きく分けて熔融層厚一定法及び熔融層厚変化法の二つの方法が提案されている。

【0008】熔融層厚一定法は、単結晶 46 を引き上げる際、引き上げられた単結晶 46 の量に拘らず、坩堝 41 内における熔融層 43 の体積を一定に保つように、ヒータ 42 のパワーを調整し、固体層 49 を熔融させてい

10

20

30

40

50

く方法である。そして該方法のなかに、さらに不純物を含有しない固体層49を単結晶の引き上げに伴って溶解させつつ、不純物を連続的に添加して熔融層43の不純物濃度を一定に保つ方法（特公昭34-8242号公報、特公昭62-880号公報等）、及び固体層49中に先に不純物を含有させておき、不純物を添加せずに単結晶引き上げ中の熔融層43の不純物濃度を一定に保つ方法（特公昭62-880号公報、特開昭63-252989号公報等）の二つの方法がある。

【0009】一方、熔融層厚変化法は、意図的に熔融層43の液量を変化させることにより、単結晶引き上げ中に不純物を添加することなく熔融層43の不純物濃度C1を一定に保ち、単結晶中の不純物の偏析を抑制する方法であり、特開昭61-250961号公報、特開昭61-250692号公報及び特開昭61-215285号公報等に開示されている。

【0010】上述したようにDLCZ法により得られた単結晶46では、CZ法により得られたものに比較して、引き上げられた単結晶46の軸方向に関する不純物濃度がより一定値に近づくため、その電気抵抗率もより均一化され、電気抵抗率を基準とした歩留りが改善されるという利点がある。

【0011】しかし前記いずれのDLCZ法においてもヒータ42の位置は固定されており、結晶用原料を溶解させ易いように坩堝41を設定し、その後の単結晶の溶解及び引き上げは、ヒータ42のパワーを調整することにより行うので、完全に溶解量を制御することは難しく、その結果引き上げ時に熔融層43中の不純物濃度は完全に一定には保たれず、引き上げた単結晶中の電気抵抗率が一定になりにくいという問題があった。

【0012】また、固体層49の溶解量の制御及び熔融層43の温度条件の制御を一つのヒータ42で行うことは容易ではなかった。

【0013】このような熔融層の温度条件や固体層の溶解量をより良好に調節する方法として、上下2段に分割されたヒータが配設された単結晶引き上げ装置が提案されている。

【0014】図22は前記単結晶引き上げ装置を模式的に示した断面図であり、メインヒータ42a及びサブヒータ42bを除いた他の部分は図21に示した単結晶引き上げ装置と同様であるのでヒータ部分についてのみ説明する。

【0015】メインヒータ42aは坩堝41上部の外側に同心円状に配設され、このメインヒータ42aの下方にメインヒータ42aと略同一形状のサブヒータ42bが同様に配設されており、メインヒータ42a及びサブヒータ42bはそれぞれパワーが調整できるような電源装置に接続されている。

【0016】このように構成された単結晶引き上げ装置を用い、単結晶を引き上げる場合には、まず坩堝41を

所定の位置に移動させて固定し、メインヒータ42a及びサブヒータ42bを用いて、坩堝41内の結晶用原料を一旦全て溶解させ、熔融層43を形成する。次に、サブヒータ42bのパワーをオフにし、メインヒータ42aのパワーを下げて熔融層43の下側を凝固させ、固体層49を形成するとともに熔融層43内にドーピング用の不純物を添加して溶解させる。この後、メインヒータ42a及びサブヒータ42bのパワーを調整し、固体層49の溶解量を制御しつつ、上記したCZ法と同様の方法により単結晶を引き上げる（特開平5-24972号公報）。

【0017】このように、メインヒータ42a及びサブヒータ42bが配設された装置では、メインヒータ42aのパワーとサブヒータ42bのパワーとを個別に調整することにより、坩堝41の温度分布を制御することが可能になり、またサブヒータ42bの位置の設定の仕方により坩堝41の下部の特定の部位のみを選択的に冷却して固体層49の厚さを調整することが可能となる。

【0018】一方、単結晶中の不純物の制御のみでなく、酸素濃度の分布を制御して、さらに歩留りを上げようとする試みもある。単結晶中に含まれる酸素濃度を制御する試みとして、特開昭62-202892号公報においては、シリコン単結晶引き上げ装置のヒータの内側にヒータの温度分布を制御する断熱板が配設されたシリコン単結晶引き上げ装置が提案されており、この断熱板を上下に移動させて環境温度を制御することにより、石英坩堝とシリコン熔融液との反応速度を制御し、酸素濃度が $1.35 \sim 1.45 \times 10^{-18} [\text{cm}^{-3}]$ の範囲にあるシリコン単結晶を引き上げ可能であることが記載されている。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】しかし図22に示した二つのヒータ42a、42bが用いられた装置においては、単結晶46の引き上げを行う毎にメインヒータ42aやサブヒータ42bの消耗により発熱状態が微妙に変化してしまうため、固体層49の形成時にメインヒータ42a及びサブヒータ42bに対する坩堝41の相対位置を一定に設定しても、形成される固体層49の厚さが毎回変化してしまう。このため、一定の厚さを有する固体層49を形成することが困難であり、また形成された固体層49を溶解する際に再現性よく、固体層49の溶解量を制御することは難しいという課題があった。

【0020】また固体層49を形成する際、サブヒータ42bのパワーをオフにした後は、坩堝41を冷却する手段がないため熔融液43を効率よく冷却することができず、固体層49の形成に時間がかかり、その結果プロセス時間が長くなって生産効率が悪くなるという課題があった。

【0021】また、ヒータ温度の設定ミス等により坩堝41内の熔融層49が凝固した場合には、結晶化により

その体積が膨張し、坩堝41の変形により坩堝41とヒータ42a、42bとが接触するためヒータ42a、42bが破壊し易いという課題があった。

【0022】さらに、単結晶中の酸素濃度の制御に関しては、上記したような熔融層43中の酸素濃度の制御のみでは充分でなく、単結晶引き上げ中の単結晶46の温度環境を制御する必要がある。すなわち、単結晶46を引き上げる途中で引き上げられる単結晶46になんら熱処理を施さない場合、単結晶46の引き上げ軸方向に温度分布が生じ、得られた単結晶46はその部位により異なった熱履歴を経ることになる。引き上げられた単結晶46はウエハ等に切断、分割した後に熱処理を行って酸素を析出させるが、この熱履歴の違いのためにウエハ中の酸素の析出挙動が異なり、不均一性が生じるという問題点がある。しかし、上記したいずれの方法においても、このような単結晶の熱履歴の均一化は行われていなかった。

【0023】この熱履歴を均一化する手段として、引き上げられた単結晶46を均一な温度に保持すべく、単結晶引き上げ領域に別のヒータが設けられた単結晶引き上げ装置が開示されている（特開平2-48491号公報、特開昭57-183393号公報、特開平3-33093号公報等）が、いずれも単結晶引き上げ領域に熔融層43の加熱に使用するヒータ42a、42bとは別のヒータが配設されているため、設備費が増大し、製品コストが高くなるという課題があった。

【0024】本発明はこのような課題に鑑みなされたものであり、DLCZ法において固体層の厚さやその溶解速度を任意に制御することができ、固体層を迅速に形成することができ、ヒータの破壊等の事故が発生しにくく、さらには単結晶の熱履歴を均一化して、歩留りの高い単結晶を安価に引き上げることができる単結晶引き上げ装置を提供することを目的としている。

【0025】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを上下方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴としている（1）。

【0026】上記（1）記載の単結晶引き上げ装置によれば、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを上下方向に移動可能とする移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成

した後、前記二つのヒータのパワーの制御や少なくとも前記サブヒータを前記移動手段を用いて上下に移動させることにより、固体層が迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がなされる。また、坩堝中の熔融液が凝固しても、前記ヒータを移動させることにより、前記ヒータと前記坩堝との接触による破壊が防止される。また上記（1）記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化するのにも使用することができる。

【0027】上記（1）記載の単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータや前記サブヒータ自身の材料や構成は従来より使用されているヒータと同様の円筒状のものでよいが、それぞれのヒータの幅は坩堝の大きさや形成する固体層の厚さ等により、最も適するように選択すればよい。前記メインヒータ及び／又はサブヒータに添設されている前記移動手段は特に限定されないが、例えばヒータの一部にネジ穴が切られた部材が固定され、該部材にはネジが切られたネジ付き棒が螺合され、該ネジ付き棒を回転させることにより、前記ヒータを上下に移動させることができる装置等の移動手段が挙げられる。

【0028】また本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを前記坩堝の半径方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴としている（2）。

【0029】上記（2）記載の単結晶引き上げ装置によれば、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを前記坩堝の半径方向に移動可能とする前記移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーの制御や少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により前記坩堝の半径方向に移動させることにより、固体層が迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がなされる。また前記の場合と同様に熔融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊が防止される。また上記

（2）記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化するのにも使用することができる。

【0030】上記（2）記載の単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータや前記サブヒータの材料は従来より使用されているものでよいが、前記ヒータを坩堝の半径方向に移動できるように、円筒状のヒータは幾つかの部分に分割されている必要がある。移動手段としては上記（1）記載の単結晶引き上げ装置と同様の手段を使

用することができる。

【0031】また本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を上下方向に移動可能とする移動手段が添設されていることを特徴としている(3)。

【0032】上記(3)記載の単結晶の引き上げ装置によれば、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に前記冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を上下方向に移動可能とする前記移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーの制御や前記冷却板の上下方向の移動により、固体層が迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がなされる。また上記(3)記載の単結晶の引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化するのにも使用することができる。

【0033】上記(3)記載の単結晶引き上げ装置において、前記冷却板は前記サブヒータよりもさらに半径の小さい円筒状のものでよく、坩堝に一番近い位置で上下に移動できるような移動手段が添設されている必要がある。前記冷却板はW、Moのような金属やSiCのようなセラミックスにより作製されており、前記冷却板が近くに存在するヒータにより温度が上昇しないように冷媒がその内部に流通しているものが好ましい。前記冷却板の移動手段は、上記(1)記載の単結晶引き上げ装置において使用される前記移動手段と同様でよい。

【0034】また本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、上記(1)又は(2)記載の単結晶引き上げ装置において、前記冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が前記坩堝の周囲に配設されていることを特徴としている(4)。

【0035】上記(1)又は(2)記載の単結晶引き上げ装置において、前記冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が前記坩堝の周囲に配設されている場合、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーを制御し、少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により上下、又は前記坩堝の半径方向に移動させ、前記冷却板を上下に移動させることにより、固体層がより迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がより正確になされ、単結晶の熱履歴が均一化される。また前記の場合と同様に熔融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊が防止される。

【0036】また本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設

されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を半径方向に移動可能とする移動手段が配設されていることを特徴としている(5)。

【0037】上記(5)記載の単結晶の引き上げ装置によれば、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に前記冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を半径方向に移動可能とする移動手段が配設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成し、前記二つのヒータのパワーを制御し、前記冷却板を前記坩堝の半径方向に移動させることにより、固体層が迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がなされる。また上記(5)記載の単結晶の引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化するのにも使用することができる。

【0038】上記(5)記載の単結晶引き上げ装置において、前記冷却板自身の材料や構成は上記(3)記載の単結晶引き上げ装置の場合と同様でよく、前記移動手段は上記(2)記載の単結晶引き上げ装置の場合の移動手段と同様の移動手段を使用することができる。

【0039】また本発明に係る単結晶の引き上げ装置は、上記(1)又は(2)記載の単結晶引き上げ装置において、(5)記載の冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が坩堝の周囲に配設されていること特徴としている(6)。

【0040】上記(1)又は(2)記載の単結晶引き上げ装置において、上記(5)記載の冷却板及び該冷却板に添設された前記移動手段が前記坩堝の周囲に配設されている場合、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成し、前記二つのヒータのパワーを制御し、少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により上下、又は前記坩堝の半径方向に移動させ、前記冷却板を前記坩堝の半径方向に移動させることにより、固体層がより迅速に形成され、固体層の厚さやその溶解速度の制御がより正確になされる。また前記の場合と同様に熔融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊が防止される。また上記(6)記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化するのにも使用することができる。

【0041】

【実施例及び比較例】以下、本発明に係る単結晶の引き上げ装置の実施例を図面に基づいて説明する。図1は本発明の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図であり、図中、20はメインチャンバーを示している。メインチャンバー20は円筒形状の真空容器20aにより構成され、図示しない水冷機構により水冷されている。メインチャンバー20のほぼ中央位置には

結晶用原料が充填された坩堝 11 が配設されており、坩堝 11 は有底円筒形状で内径が 16 インチ (約 400 cm)、高さが 14 インチ (約 350 cm) の石英製内層容器 11a とこの内層容器 11a の外側に嵌合された有底円筒状の黒鉛製外層保持容器 11b とから構成されている。またこの坩堝 11 の底部の略中心箇所にはメインチャンバー 20 の底壁を貫通する支持軸 18 が取り付けられ、この支持軸 18 によって坩堝 11 は回転及び昇降可能に支持されている。

【0042】またこの坩堝 11 の外周上部には、例えば 90 mm 程度の発熱長を有する抵抗加熱式のメインヒータ 12a が、またその下部には同じ直径で例えば 90 mm 程度の発熱長を有する抵抗加熱式のサブヒータ 12b が同心円状に配設されており、その外側に保温筒 17 が周設されている。さらにサブヒータ 12b の下方には、サブヒータ 12b の直径よりも小さく、坩堝 11 に一番近い位置で上下に移動可能な円筒形状の冷却板 22a が配設されている。冷却板 22a は、例えば W や Mo 等の金属や SiC 等のセラミックスにより形成されており、特に耐熱性に優れたセラミックスにより形成されている場合は、サブヒータ 12b 等と坩堝 11 の間に挿入することにより、充分にその熱を遮断できるが、より効率よく冷却を行うためには、その内部に冷媒が流通できるような構造となっていることが好ましい。

【0043】サブヒータ 12b はネジ付き棒 23 に取り付けられ、移動できるようになっている。メインヒータ 12a 及び冷却板 22a も同様の移動手段 (図示せず) が添設されている。これらのメインヒータ 12a、サブヒータ 12b 及び冷却板 22b の移動手段については、後に詳述する。

【0044】一方坩堝 11 の上方にはメインチャンバー 20 の上部に連設された小型でほぼ円筒状のプルチャンバー 21 を通して引き上げ軸 14 が回転並びに昇降可能のように吊設されており、引き上げ軸 14 の下端にはシードチャック 15 が配設され、このシードチャック 15 に種結晶 15a が装着されている。一方、坩堝 11 内の下部には固体層 19 が、そして上部には熔融層 13 がそれぞれ形成されており、坩堝 11 内の熔融層 13 中に種結晶 15a の下端を浸漬した後、これを回転させつつ上昇させることにより、種結晶 15a の下端から単結晶 16 を成長させるようになっている。

【0045】前記したメインヒータ 12a 及びサブヒータ 12b は、それぞれ別個にパワーを制御できるようにコントローラ (図示せず) に接続されている。

【0046】図 2 (a) は実施例に係る単結晶引き上げ装置中のサブヒータ 12b 及びそれに添設されている移動手段の一部を模式的に図示した平面図であり、図 2

(b) はその側面図である。サブヒータ 12b にはその一方の外側に移動用部材 24 が配設されており、その中心部はネジ孔 24a が形成され、このネジ孔 24a のネ

ジと同様のピッチになるようにネジが形成されたネジ付き棒 23 が移動用部材 24 に螺合している。また反対側には固定部材 29 が配設され、この固定部材 29 に支持棒 30 が固定されており、支持棒の上部 30a は炉内に固定されたシリンダ 31 中に納められている。そしてネジ付き棒 23 はモータ 25 に連結されており、モータ 25 によりネジ付き棒 23 を時計回り又は反時計回りに回転させることにより、サブヒータ 12b を上下に移動させるが、このとき支持棒 30 の上部はシリンダ 31 に納められた状態で摺動可能に支持されているので、サブヒータ 12b 全体がスムーズに上下方向に移動できるようになっている。ネジ付き棒 23 や支持棒 31 の材質は、W や Mo 等の金属や SiC 等のセラミックスが好ましい。

【0047】また別の実施例として、両側に支持棒 30 が固定されたサブヒータ 12b の支持棒 30 の下部が単結晶引き上げ装置の外部に設置された油圧シリンダーに納められ、前記前記油圧シリンダーによりサブヒータ 12b が上下に移動できるように構成されたものでもよい。支持棒 30 の上部は図 2 の場合と同様にシリンダ 31 に納められた構造となっていればよい。

【0048】メインヒータ 12a も同様の移動手段が配設されており、上下に移動させることができる。一方冷却板 22a については、例えば図 3 に示すような構成をとるのが好ましい。

【0049】図 3 (a) は実施例に係る単結晶引き上げ装置中の冷却板 22a 及びそれに添設されている移動手段の一部を模式的に図示した平面図であり、図 3 (b) はその側面図である。冷却板 22a の下には支持及び冷媒流通用の支持部材 26 が配設され、この支持部材 26 の下部は図示しない油圧シリンダーに納められている。そして、この油圧シリンダーを操作することにより冷却板 22a が上下に移動できるようになっている。冷却板 22a 及び支持部材 26 の内部は空洞状態であり、水や Ar や He 等の冷媒を支持部材 26 を通じて冷却板 22a 内に流通させることにより冷却を行うことができるが、冷却板内部の空洞の構造は導入された冷媒が効率よく熱交換できるよう、例えば図示しているような小さな貫通孔により連通した幾つかの部屋に分かれた構造とするのが好ましい。

【0050】このように構成された単結晶引き上げ装置を用いて単結晶を引き上げる場合は、まず坩堝 11 内に結晶用原料としてシリコンの多結晶 65 kg を充填し、その中に n 型ドーパントのリンを 0.6 g 添加する。チャンバー 20 内を約 10 Torr の Ar 雰囲気にした後、メインヒータ 12a 及びサブヒータ 12b のパワーをそれぞれ 50 kW 程度、合計 100 kW 程度に設定して全ての結晶用原料を一度溶解させる。次に、所望の固体層厚さになるようにサブヒータ 12b のパワーをオフにし、メインヒータ 12a のパワーを 70 kW 程度に

し、メインヒータ12aの位置を調整し、さらに冷却板22aを上方に移動させる。

【0051】図4は冷却板22aをサブヒータ12b付近まで移動させた時の単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図である。このように冷却板22aをサブヒータ12b付近まで移動させることにより、坩堝11下部に対するメインヒータ12a及びサブヒータ12bからの放射熱を完全に遮断することができ、坩堝11からの放射熱冷却板22aにより吸収されるので、坩堝11中の熔融液は迅速に冷却され、熔融層13の下部に短時間

で固体層13を成長させることができる。【0052】このようにして固体層19を形成し、その量を安定させた後、種結晶15aの下側を熔融層13に浸漬し、坩堝11の回転数を1rpm、引き上げ軸14の回転数を10rpm、引き上げ速度を1.0mm/分の条件に設定してお互いに逆方向に回転させつつ結晶径約154mm、長さ約1000mmのシリコン単結晶16を引き上げる。

【0053】このとき、単結晶の引き上げがネック16a、ショルダー16bと移行し、ボディ16cに移ると、メインヒータ12aやサブヒータ12bのパワー、前記両ヒータの位置、冷却板22aの位置を調整し直し、前記した引き上げ条件が維持されるようにメインヒータ12a及びサブヒータ12bのパワーを調整しながら引き上げる。

【0054】図5は上記方法により固体層19を厚さ100mm形成するのに必要とした時間と、比較例として図22に示した従来の装置を用いた場合とを比較して示したグラフである。

【0055】図5より明らかなように従来の装置では固体層19を形成するのに約8時間程度かかったのに対し、本実施例の装置を用いた場合には約6時間程度で固体層19を形成することができ、固体層19の形成速度を早めて、1本当たりの単結晶引き上げ時間を短縮することができる。

【0056】次に、前記単結晶引き上げ装置を用い、単結晶引き上げ中に単結晶16の熱履歴を制御する方法について説明する。

【0057】この場合は図6に示したように、メインヒータ12aを引き上げる単結晶16の熱履歴を制御するためのヒータとして用いる。この場合、固体層19を形成した後、メインヒータ12aを坩堝11の上端より高い位置に移動させ、サブヒータ12bを坩堝11の中央付近に移動させて坩堝11上部の熔融層13を保持するために用いる。単結晶引き上げの条件は上記した場合と同様である。

【0058】図7は上記方法により得られた単結晶16を切断してウエハに分割し、得られたウエハに同じ熱処理を施した場合の、単結晶16の軸方向のトップからの距離とウエハにおける酸素の析出量との関係を示したグ

ラフである。比較例として図22に示した従来の装置を用いて得られた単結晶について、同様に酸素の析出量を調べた結果を示している。

【0059】この図より明らかなように、単結晶引き上げ時に熱履歴を制御することによりすべて部位で、均一な酸素析出量を有する単結晶を得ることができる。

【0060】このように二つのヒータ12a、12bと坩堝11との位置関係を図6に示したような位置関係にすることにより、メインヒータ12aで単結晶16に熱を与えることができるようになり、その結果単結晶16の熱履歴を制御することができ、酸素の析出量を制御することができるとともに、単結晶の引き上げ過程で多数導入される格子欠陥や格子歪みを熱処理によって消滅させることもできるようになり、良質で均質な単結晶を得ることができるようになる。

【0061】また上記した構成の単結晶引き上げ装置を採用した場合、多量の結晶原料熔融液を凝固させてしまうような事態が生じても、ヒータ12a、12bを移動させることにより、熔融層13の凝固による体積膨張によってメインヒータ12a又はサブヒータ12bと坩堝11とが接触して坩堝11、メインヒータ12a又はサブヒータ12bが破壊するのを防止することができる。

【0062】次に、本発明に係る単結晶引き上げ装置の別の実施例を図面に基づいて説明する。図8は別の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図であり、図9は図8におけるA-A線断面図である。この装置においては、メインヒータ12cとサブヒータ12dとの構造を除いて図1に示した単結晶引き上げ装置と同様であり、主にメインヒータ12c及びサブヒータ12dの構成について説明する。なお、保温筒については図示を省略している。

【0063】この実施例に係るメインヒータ12c及びサブヒータ12dは、いずれも発熱長が90mm程度の円筒状のヒータであり、坩堝11の周囲に配設されているが、坩堝11の半径方向に移動可能なように8個の部分に分割されており、図10に示す移動手段が添設されている。

【0064】図10(a)はサブヒータ12d及びその移動手段を示した平面図であり、図10(b)は坩堝11が配設されている方向から見た背面図である。サブヒータ12dの下側にはレール27上を摺動する摺動部材28が固定され、この摺動部材28を介してサブヒータ12dはレール27上を移動可能な構成となっている。摺動部材28の略中心部分にはネジ孔28aが形成され、このネジ孔28aのネジと同様のピッチになるようにネジの切られたネジ付き棒23bに摺動部材28が螺合している。そしてネジ付き棒23bはモータ25aに連結されており、モータ25aによりネジ付き棒23bを時計回り又は反時計回りに回転させることにより、サブヒータ12dを坩堝11の半径方向に移動させるように

なっている。摺動部材 28 及びレール 27 はサブヒータ 12 d の上下に配設するのが好ましく、ネジ付き棒 23 b は少なくとも上下のどちらかに配設されていればよい。メインヒータ 12 c も同様の移動手段により坩堝 11 の半径方向に移動させることができる。レール 27 の材質は、W や Mo 等の金属や SiC 等のセラミックスが好ましい。

【0065】この装置に配設されている冷却板 22 a は、図 1 に示した冷却板 22 a と同様に構成されており、上下に移動可能である。

【0066】このように構成された単結晶引き上げ装置を用いて単結晶を引き上げる場合、メインヒータ 12 c 及びサブヒータ 12 d を坩堝 11 の半径方向に移動させて加熱条件を変化させる他は、図 1 に示した単結晶引き上げ装置の場合と同様の操作を行えばよい。

【0067】図 11 はシリコンの多結晶原料を全て溶解させた後、熔融層 13 の下部に固体層 19 を形成する場合の状態を模式的に示した縦断面図である。図示したように、メインヒータ 12 c、サブヒータ 12 d 及び冷却板 22 a を移動させることにより、効率的に固体層 19

を形成することができる。

【0068】図 12 は上記した装置を用いて固体層 19 を厚さ 100 mm 形成するのに必要とした時間を、比較例として図 22 に示した従来の装置を用いた場合とを比較して示したグラフである。

【0069】図 12 より明らかなように従来の装置では固体層 49 を形成するのに約 8 時間程度かかったのに対し、本実施例の装置を用いた場合では約 6 時間程度で固体層 19 を形成することができ、固体層 19 の形成速度を早めて、1 本当たりの単結晶引き上げ時間を短縮することができる。

【0070】また、図 13 は単結晶を引き上げる際に単結晶の熱履歴を制御するために二つのヒータ 12 c、12 d の位置を調整した場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示す縦断面図である。このようにメインヒータ 12 c 及びサブヒータ 12 d を坩堝 11 から少し離して位置させることにより、ヒータ 12 c、12 d による加熱領域を広げ、単結晶 16 を適切な温度条件で熱処理することができる。図 14 は図 13 に示したようにして単結晶 16 の熱履歴を制御して得られた単結晶 16 を切断してウエハに分割し、得られたウエハに同じ熱処理を施した場合の、単結晶 16 の軸方向のトップからの距離とウエハにおける酸素の析出量との関係を示したグラフである。比較例として図 22 に示した従来の装置を用いて得られた単結晶について、同様にして酸素の析出量を調べた結果を示している。

【0071】図 14 より明らかなように、単結晶引き上げ時に熱履歴を制御することによりすべての部位で、均一な酸素析出量を有する単結晶を引き上げることができる。

【0072】次に、本発明に係る単結晶引き上げ装置のさらに別の実施例を図面に基づいて説明する。図 15 はさらに別の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図であり、図 16 は図 15 における B-B 線断面図である。

【0073】この装置においては、冷却板 22 b の構成及び冷却板 22 b とヒータ 12 c、12 d との組み合わせを除いては、図 8 に示した単結晶引き上げ装置と同様であり、主に冷却板 22 b の構成及び冷却板 22 b とヒータ 12 c、12 d との組み合わせについて説明する。

【0074】この装置に設けられた冷却板 22 b は円筒形状であり、坩堝 11 の周囲に配設されるが、坩堝 11 の半径方向に移動可能なように 8 個の部分に分割されている。冷却板 22 b の材質は図 1 に示した冷却板 22 a の材質と同様でよく、中を空洞にして冷媒を流通させることが望ましい。冷却板 22 b には、図 10 に示したメインヒータ 12 c やサブヒータ 12 d の構成と同様に移動手段が添設され、レール 27 の上に摺動部材 28 を介して載置された冷却板 22 b がネジ付き棒 23 b を回転させることにより移動するように構成されている。図 16 では冷却板 22 b の下部にのみにレール 27 が配設された場合を示しているが、冷却板 22 b の上下にレール 27 が配設されてもよい。

【0075】図 16 に示したように、サブヒータ 12 d と冷却板 22 b とは同一の高さで坩堝 11 の半径方向を移動するため、移動させる際にはお互いが接触しないようにする必要がある。すなわち、サブヒータ 12 d を坩堝 11 より遠ざけて冷却板 22 b を坩堝 11 の周辺近くまで移動させる場合は、サブヒータ 12 d を冷却板 22 b が移動してきても接触しないように坩堝 11 より充分遠くの位置まで移動させ、その後に冷却板 22 b を坩堝 11 の周辺近くに移動すればよい。

【0076】このように構成された単結晶引き上げ装置を用いて単結晶を引き上げる場合、メインヒータ 12 c 及びサブヒータ 12 d を坩堝 11 の半径方向に移動させて加熱条件を変化させる他は、ほぼ図 1 に示した単結晶引き上げ装置の場合と同様の操作を行えばよい。

【0077】まず、シリコンの多結晶原料を坩堝 11 に充填し、メインヒータ 12 c 及びサブヒータ 12 d を用いて前記シリコンの多結晶原料を全て溶解させた後、サブヒータ 12 d のパワーをオフにし、サブヒータ 12 d を坩堝 11 の周囲より離れた位置に移動させ、次に冷却板 22 b を坩堝 11 の周囲に移動させて坩堝 11 の下部を冷却し、熔融層 13 の下部に固体層 19 を形成する。このように、メインヒータ 12 c、サブヒータ 12 d 及び冷却板 22 b を移動させることにより、効率的に固体層 19 を形成することができる。

【0078】図 17 は上記した装置を用いて固体層 19 を厚さ 100 mm 形成するのに必要とした時間と、比較

例として図22に示した従来の装置を用いた場合とを比較して示したグラフである。

【0079】図17より明らかなように従来の装置では固体層49を形成するのに約8時間程度かかったのに対し、本実施例の装置を用いた場合には約6時間程度で固体層19を形成することができ、固体層19の形成速度を早めて、1本当たりの単結晶引き上げ時間を短縮することができる。

【0080】また、図18は単結晶を引き上げる際に単結晶の熱履歴を制御するために二つのヒータ12c、12dの位置を調整した場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。このようにメインヒータ12c及びサブヒータ12dを坩堝11から少し離れて位置させることにより、ヒータ12c、12dの加熱領域を広げ、引き上げられた単結晶16を適当な条件で熱処理することができる。

【0081】図19は図18に示したようにして単結晶16の熱履歴を制御して得られた単結晶16を切断してウエハに分割し、得られたウエハに同じ熱処理を施した場合の、単結晶16の軸方向のトップからの距離とウエハにおける酸素の析出量との関係を示したグラフである。比較例として図22に示した従来の装置を用いて得られた単結晶について、同様にして酸素の析出量を調べた結果を示している。

【0082】図19より明らかなように、単結晶引き上げ時に熱履歴を制御することによりすべての部位で均一な酸素析出量を有する単結晶を引き上げることができる。

【0083】

【発明の効果】以上、詳述したように上記(1)記載の単結晶引き上げ装置にあっては、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを上下方向に移動可能とする移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーの制御や少なくとも前記サブヒータを前記移動手段を用いて上下に移動させることにより、固体層を迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また、坩堝中の熔融液が凝固しても、前記ヒータを移動させることにより、前記ヒータと前記坩堝との接触による前記ヒータ又は前記坩堝の破壊を防止することができる。また上記(1)記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【0084】また上記(2)記載の単結晶引き上げ装置にあっては、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二

段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記メインヒータ及び前記サブヒータのうちの少なくとも一段のヒータに該ヒータを前記坩堝の半径方向に移動可能とする前記移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーの制御や少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により前記坩堝の半径方向に移動させることにより、固体層を迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また前記の場合と同様に熔融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊を防止することができる。また上記(2)記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【0085】また上記(3)記載の単結晶引き上げ装置にあっては、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に前記冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を上下方向に移動可能とする前記移動手段が添設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーの制御や前記冷却板の上下方向の移動により、固体層を迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また上記(3)記載の単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【0086】また上記(1)又は(2)記載の単結晶引き上げ装置において、(3)記載の冷却板及び移動手段が坩堝の周囲に配設されている場合は、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成した後、前記二つのヒータのパワーを制御し、少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により上下、又は前記坩堝の半径方向に移動させ、前記冷却板を上下に移動することにより、固体層を迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また前記の場合と同様に熔融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊を防止することができる。また上記単結晶の引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【0087】また本発明に係る上記(5)記載の単結晶の引き上げ装置にあっては、結晶用原料を充填する坩堝及び該坩堝の周囲に配設されたメインヒータ及びサブヒータからなる二段のヒータを含んで構成された単結晶引き上げ装置において、前記坩堝の周囲に前記冷却板が配設され、該冷却板に該冷却板を半径方向に移動可能とする移動手段が配設されているので、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成し、前記二つのヒータのパワーを制御し、前記冷却板を前記坩堝の半径方向に移動することにより、固体層を

迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また上記（５）記載の単結晶の引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【００８８】また本発明に係る上記（１）又は（２）記載の単結晶引き上げ装置において、上記（５）記載の冷却板及び移動手段が坩堝の周囲に配設されている場合は、前記メインヒータ及び前記サブヒータを適切な位置にセットして熔融層を形成し、前記二つのヒータのパワーを制御し、少なくとも前記サブヒータを前記移動手段により上下、又は坩堝の半径方向に移動させ、前記冷却板を前記坩堝の半径方向に移動させることにより、固体層を迅速に形成することができ、固体層の厚さやその溶解速度を制御することができる。また前記の場合と同様に熔融液の凝固による前記ヒータや前記坩堝の破壊を防止することができる。また上記単結晶引き上げ装置は、単結晶の熱履歴を均一化させるのに使用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図である。

【図２】（ａ）は実施例に係る単結晶引き上げ装置中のサブヒータ及び前記サブヒータに添設されている移動手段の一部を模式的に示した平面図であり、（ｂ）はその正面図である。

【図３】（ａ）は実施例に係る単結晶引き上げ装置中の冷却板及び前記冷却板に添設されている移動手段の一部を模式的に示した平面図であり、（ｂ）はその正面図である。

【図４】実施例に係る単結晶引き上げ装置において、冷却板をサブヒータ付近まで移動させた場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。

【図５】実施例及び比較例において、坩堝中の熔融液の下部に固体層を厚さ 1 0 0 mm 形成する際に要した時間の分布を示したグラフである。

【図６】実施例に係る単結晶引き上げ装置において、引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとしてメインヒータを用いた場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。

【図７】実施例（引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとしてメインヒータを用いた場合）及び比較例により得られた単結晶を用いてウェハを作製し、該ウェハに熱処理を施した際の単結晶の軸方向のトップからの距離と酸素の析出量との関係を示したグラフである。

【図８】別の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図である。

【図９】別の実施例に係る単結晶引き上げ装置の図 8 における A-A 線断面図である。

【図 1 0】（ａ）はサブヒータ 1 2 d 及びその移動手段

を示した平面図であり、（ｂ）はその背面図である。

【図 1 1】別の実施例に係る単結晶引き上げ装置において、熔融層の下部に固体層を形成する場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。

【図 1 2】別の実施例及び比較例において、坩堝中の熔融液の下部に固体層を厚さ 1 0 0 mm 形成する実験を繰り返して行った際に要した時間の分布を示したグラフである。

【図 1 3】メインヒータ及びサブヒータを引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとして用いた場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。

【図 1 4】別の実施例（メインヒータ及びサブヒータを引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとして用いた場合）及び比較例により得られた単結晶を用いてウェハを作製し、該ウェハに熱処理を施した際の単結晶の軸方向のトップからの距離と酸素の析出量との関係を示したグラフである。

【図 1 5】さらに別の実施例に係る単結晶引き上げ装置を模式的に示した縦断面図である。

【図 1 6】さらに別の実施例に係る単結晶引き上げ装置の図 1 5 における B-B 線断面図である。

【図 1 7】さらに別の実施例及び比較例において、坩堝中の熔融液の下部に固体層を厚さ 1 0 0 mm 形成する際に要した時間の分布を示したグラフである。

【図 1 8】さらに別の実施例において、メインヒータ及びサブヒータを引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとして用いた場合の単結晶引き上げ装置の状態を模式的に示した縦断面図である。

【図 1 9】さらに別の実施例（メインヒータ及びサブヒータを引き上げる単結晶の熱履歴を制御するためのヒータとして用いた場合）及び比較例により得られた単結晶を用いてウェハを作製し、該ウェハに熱処理を施した際の単結晶の軸方向のトップからの距離と酸素の析出量との関係を示したグラフである。

【図 2 0】従来の C Z 法による単結晶引き上げ装置を模式的に示した断面図である。

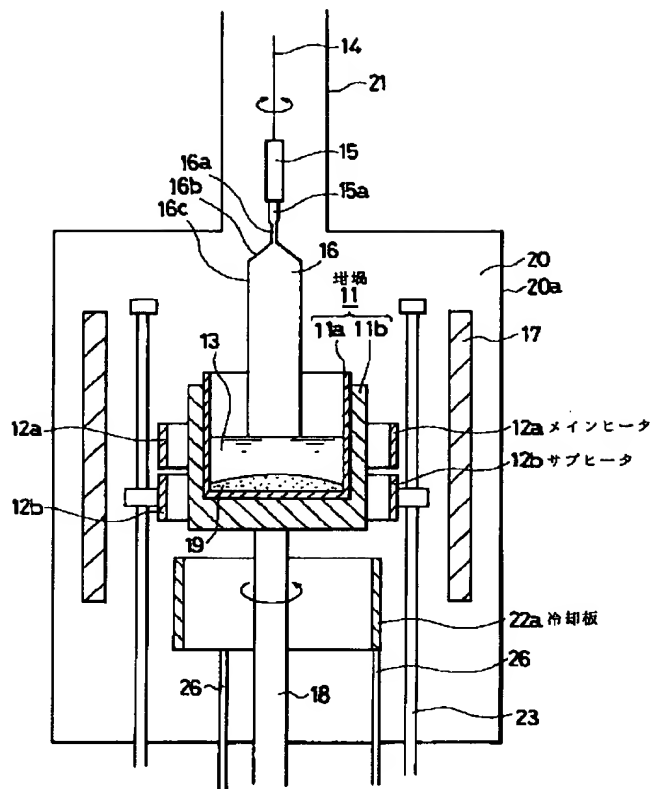
【図 2 1】従来の D L C Z 法による単結晶引き上げ装置を模式的に示した断面図である。

【図 2 2】従来の D L C Z 法において、二つのヒータが用いられた単結晶引き上げ装置を模式的に示した断面図である。

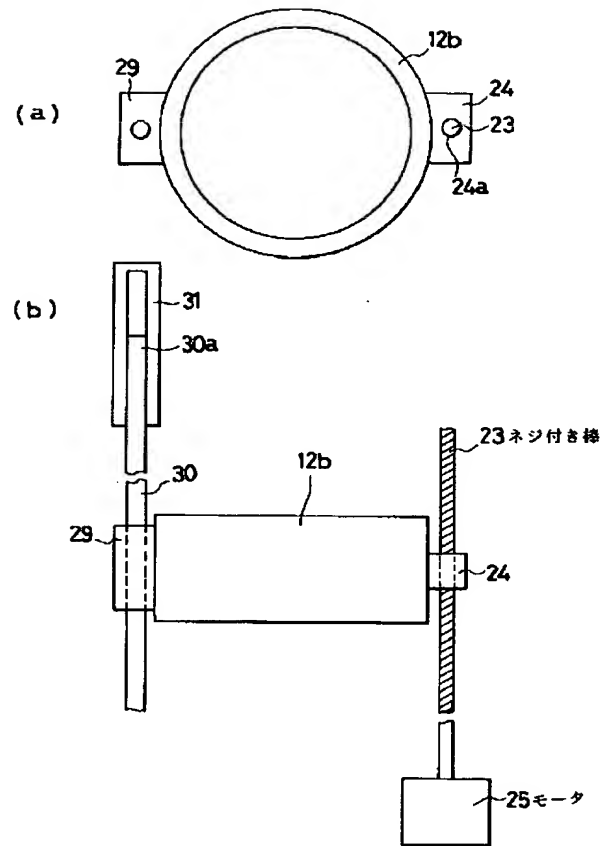
【符号の説明】

- 1 1 坩堝
- 1 2 a、1 2 c メインヒータ
- 1 2 b、1 2 d サブヒータ
- 2 2 a、2 2 b 冷却板
- 2 3、2 3 a ネジ付き棒
- 2 5 モータ
- 2 7 レール

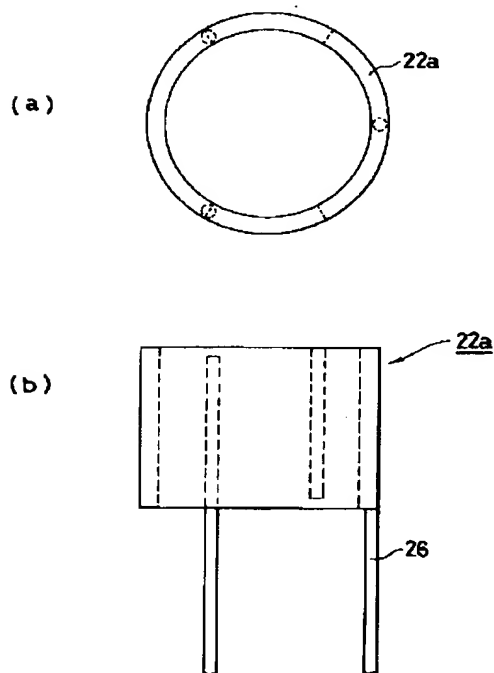
【図01】



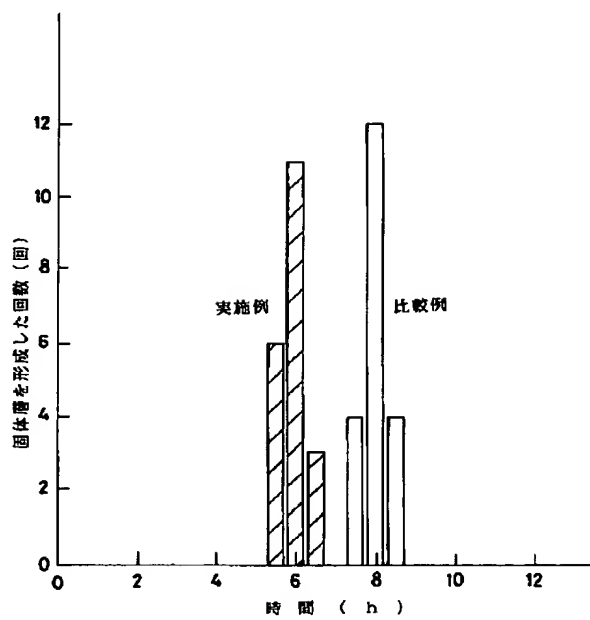
【図02】



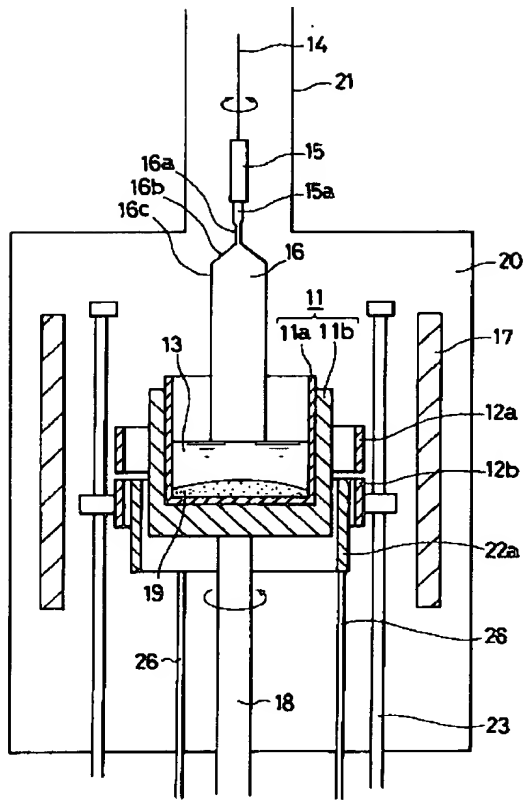
【図03】



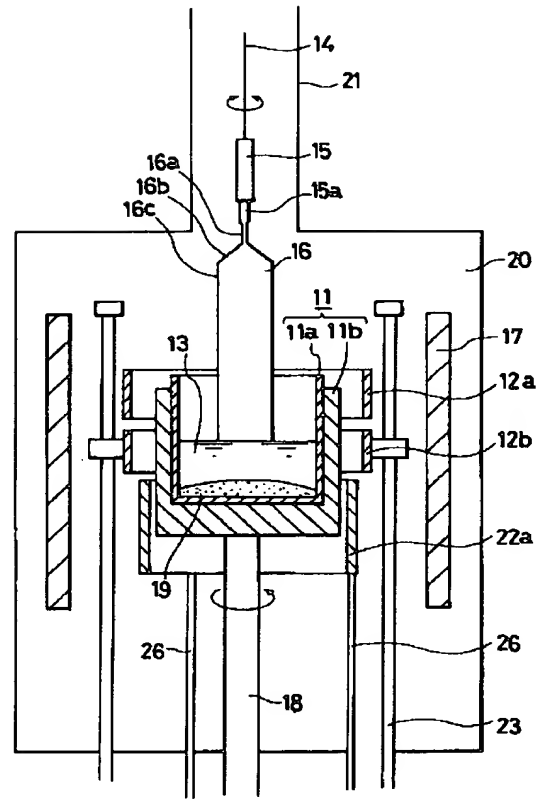
【図05】



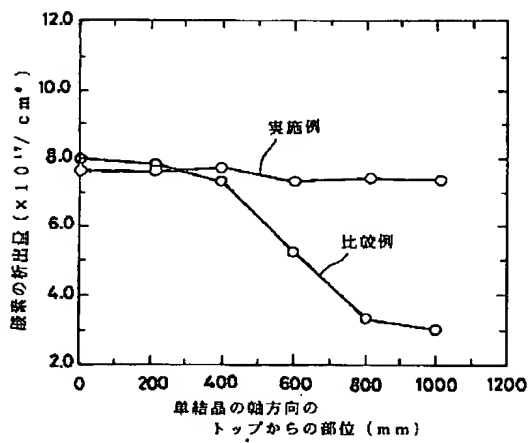
【図04】



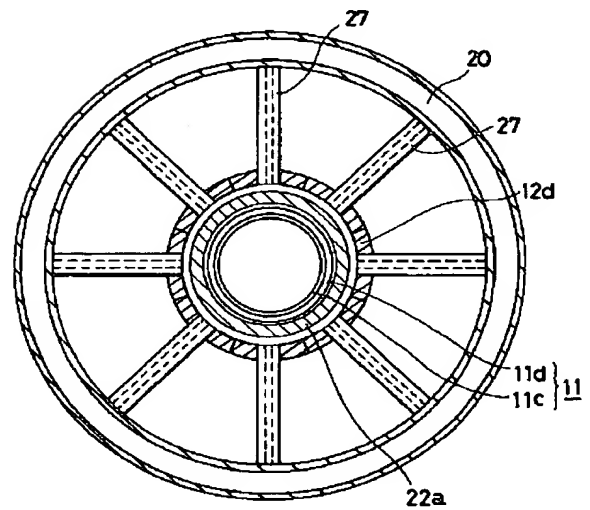
【図06】



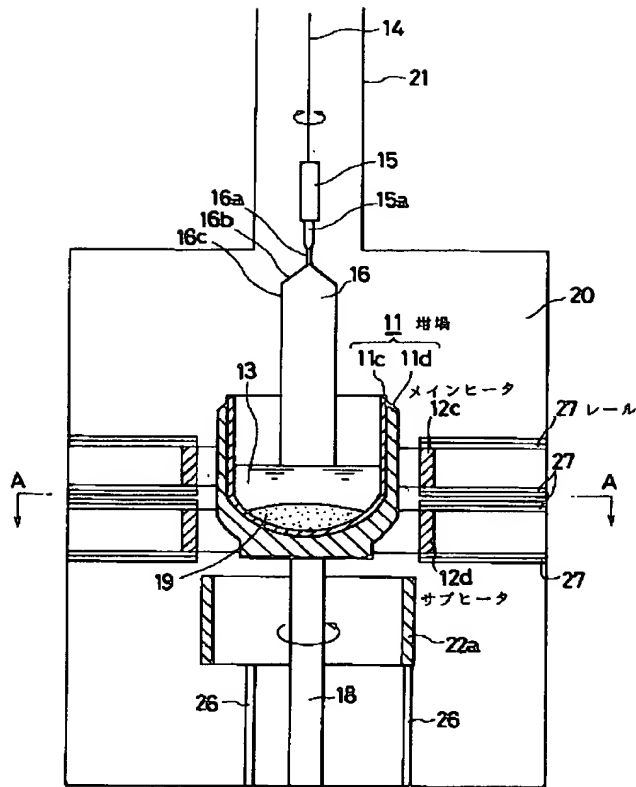
【図07】



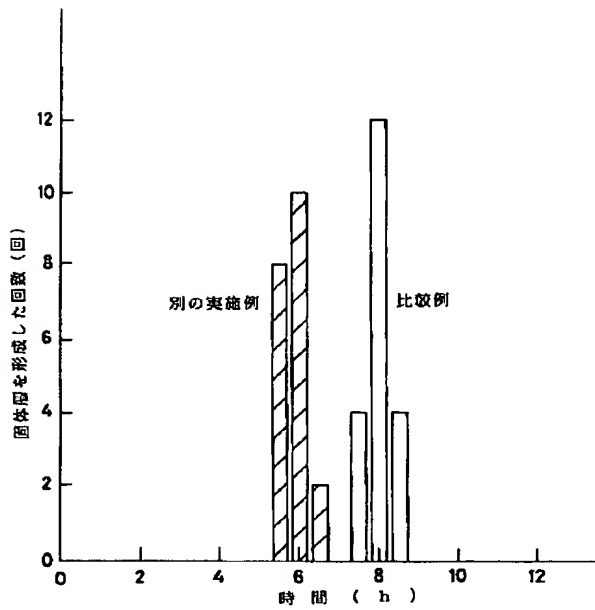
【図09】



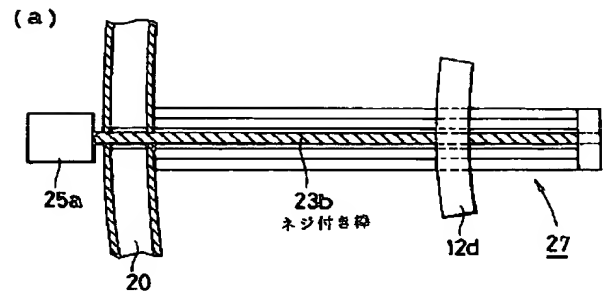
【図08】



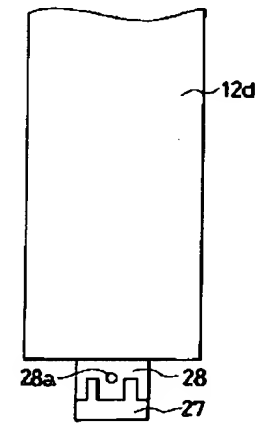
【図12】



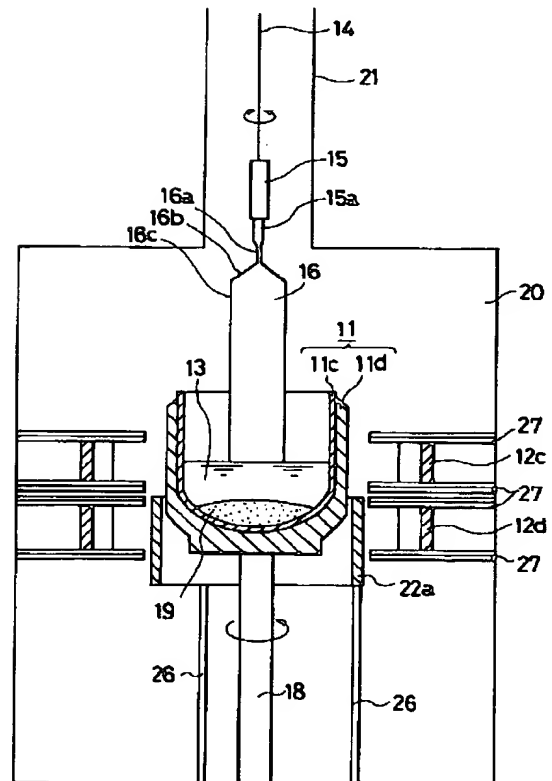
【図10】



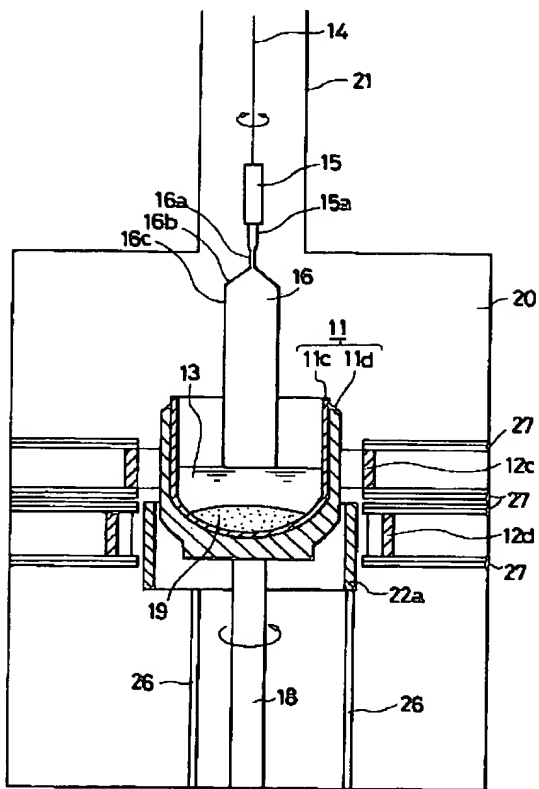
(b)



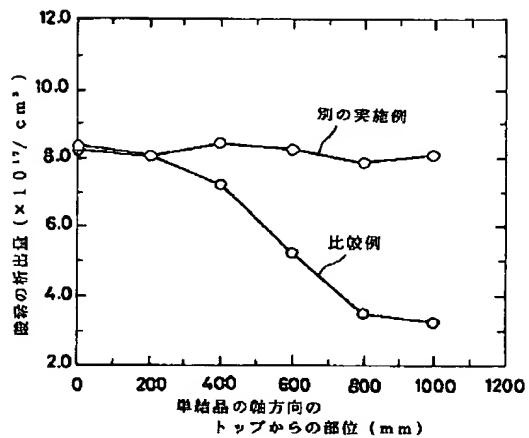
【図13】



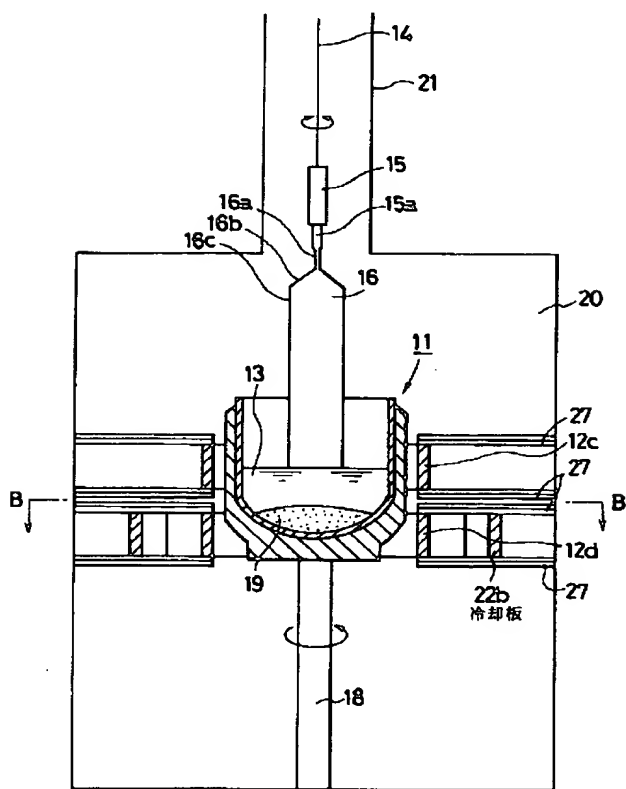
【図 1 1】



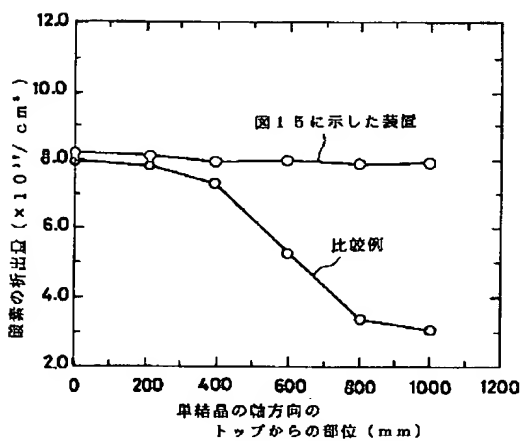
【图 14】



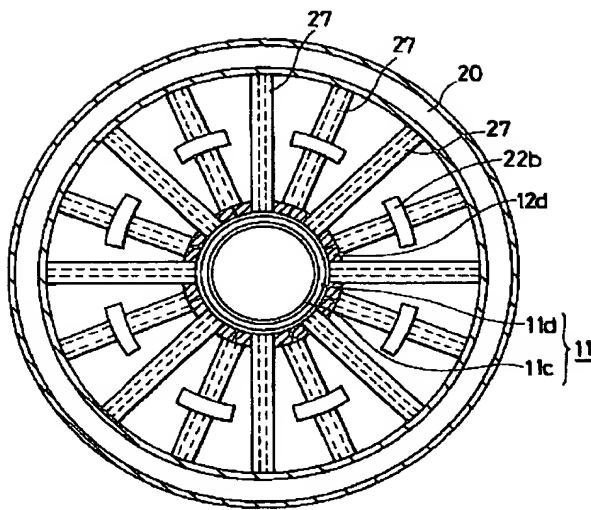
【图 15】



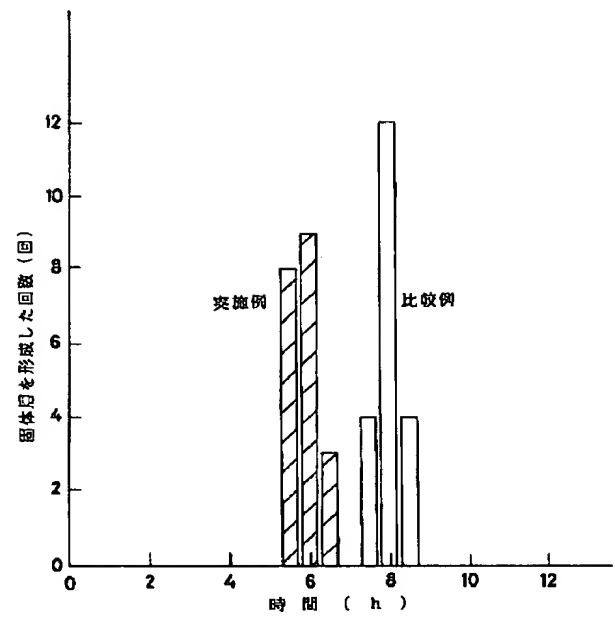
【图 19】



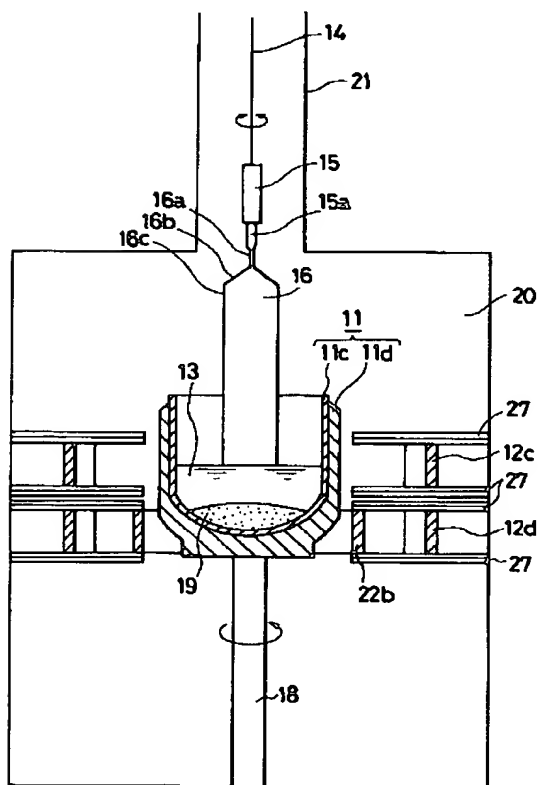
【図16】



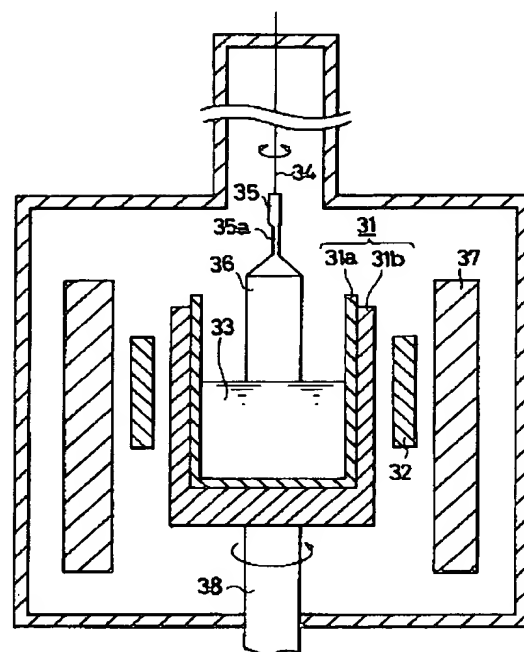
【図17】



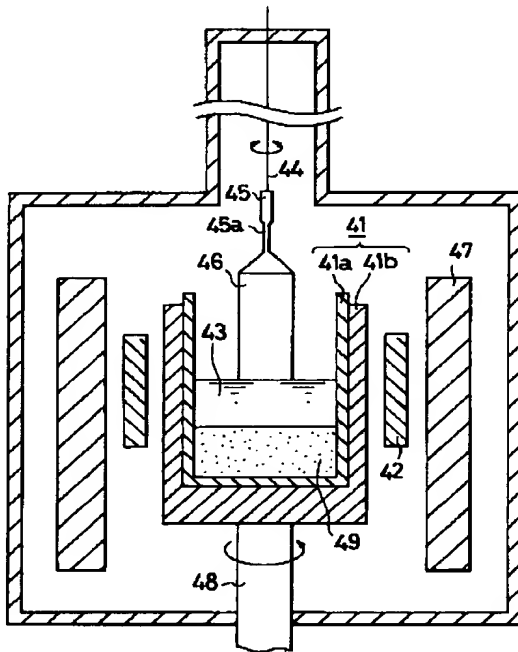
【図18】



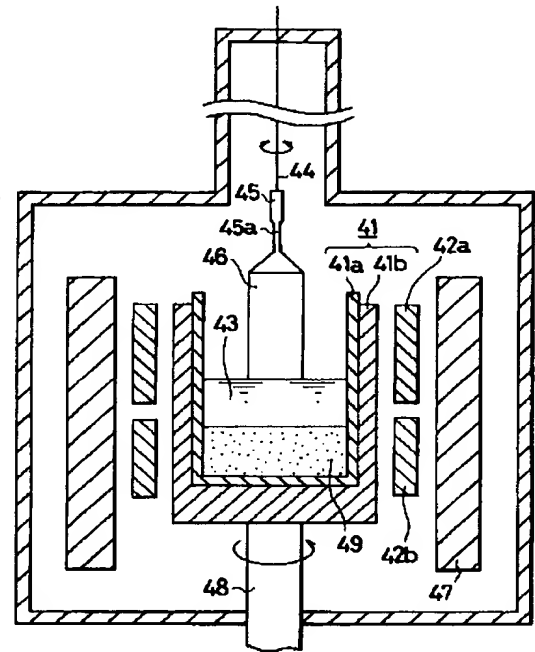
【図20】



【図 21】



【図 22】



フロントページの続き

(72)発明者 久保 高行
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
住友金属工業株式会社内

(72)発明者 藤原 秀樹
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
住友金属工業株式会社内

(72)発明者 稲見 修一
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
住友金属工業株式会社内